



Espacenet

Bibliographic data: DE 10119073 (A1)

Resonant scanner has drive formed from stator electrode and coil, for exerting force directly onto drive plate, with periodic function adapted to resonant frequency of mirror

Publication date: 2002-12-05

Inventor(s): GESSNER THOMAS [DE]; DOETZEL WOLFRAM [DE]; KAUFMANN CHRISTIAN [DE]; MEHNER JAN [DE]; HAHN RAMON [DE]; KURT STEFFEN [DE] ±

Applicant(s): SCHNEIDER LASER TECHNOLOGIES A [DE] ±

Classification:
 - **international:** **B81B3/00; G02B26/08; G02B26/10; H04N1/113;** (IPC1-7): B81B3/00; G02B26/10; G02B7/182
 - **European:** **B81B3/00K4; G02B26/08M4E; G02B26/10G**

Application number: DE20011019073 20010412

Priority number(s): DE20011019073 20010412

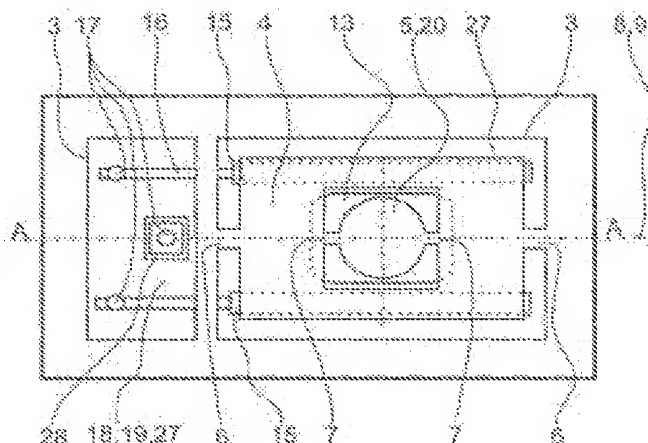
Also published as:

- [US 2004130765 \(A1\)](#)
- [US 6975442 \(B2\)](#)
- [JP 2004530926 \(T\)](#)
- [EP 1421429 \(A2\)](#)
- [EP 1421429 \(B1\)](#)
- [more](#)

Cited documents: [DE19772859 \(C2\)](#) [DE19857946 \(C1\)](#) [DE4211989 \(C2\)](#) [DE19851967 \(A1\)](#) [View all](#)

Abstract of DE 10119073 (A1)

A drive plate (4) within a frame (3) is fixed by two torsion springs (6) so that it can oscillate about a torsion axis (8). A mirror (5) is fixed by two further torsion springs (7) so that it can oscillate about a torsion axis (9). A stator electrode (15) and coil (24) are arranged to form a drive on the base (11) of the stator part (2), to exert a force directly on the drive plate. The force follows a periodic function whose period is adapted to the resonant frequency of the mirror, which is different from the resonant frequency of the drive plate.



**19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

Offenlegungsschrift
DE 101 19 073 A 1

Int. Cl.⁷:
G 02 B 26/10
B 81 B 3/00
G 02 B 7/182

21 Aktenzeichen: 101 19 073.5
 22 Anmeldetag: 12. 4. 2001
 43 Offenlegungstag: 5. 12. 2002

⑦1 Anmelder:
SCHNEIDER Laser Technologies AG, 07548 Gera,
DE

⑦4 Vertreter:
Dr. Werner Geyer, Klaus Fehners & Partner, 80687
München

(72) Erfinder:
Gessner, Thomas, Prof., 09113 Chemnitz, DE;
Dötzel, Wolfram, Prof., 09127 Chemnitz, DE;
Kaufmann, Christian, Dr., 09217 Burgstädt, DE;
Mehner, Jan, Dr., 09221 Neukirchen, DE; Hahn,
Ramon, Dipl.-Ing., 09126 Chemnitz, DE; Kurt,
Steffen, Dr., 09380 Thalheim, DE

56) Entgegenhaltungen:

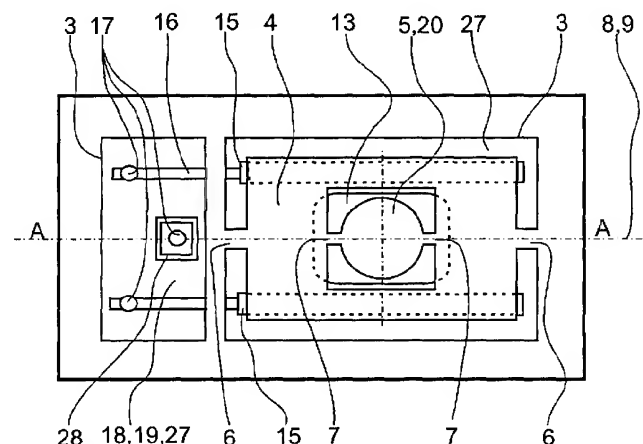
DE 1	977 28 598 C2
DE	198 57 946 C1
DE	42 11 989 C2
DE	198 51 967 A1
US	56 29 790 A
EP	07 74 681 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Resonanzscanner

(57) Resonanzscanner, bei dem ein Rahmen (3), eine Antriebsplatte (4), ein Spiegel (5) und Torsionsfedern (6, 7) ein Aktorteil (1) bilden, wobei die Antriebsplatte (4) innerhalb des Rahmens (3) durch zwei erste Torsionsfedern (6) so befestigt ist, daß die Antriebsplatte (4) um eine gemeinsame erste Torsionsachse (8) beider Torsionsfedern (6) schwingungsfähig ist, der Spiegel (5) innerhalb der Antriebsplatte (4) durch zwei zweite Torsionsfedern (7) so befestigt ist, daß der Spiegel (5) um eine gemeinsame zweite Torsionsachse (9) beider Torsionsfedern (7) schwingungsfähig ist und die erste Torsionsachse (8) und die zweite Torsionsachse (9) parallel zueinander verlaufen, weiterhin nur der Rahmen (3) des Aktorteils (1) auf Seitenwänden (10) eines kastenförmigen Statorteils (2) befestigt ist, auf einem Boden (11) des Statorteils (2) ein Antriebsmittel (Statorelektroden 15 und Spule 24) nur im Bereich der geometrisch flächenhaften Ausdehnung der Antriebsplatte (4) angeordnet ist und der Boden (11) im Bereich der geometrisch flächenhaften Ausdehnung des Spiegels (5) eine Ausnehmung (13) hat, die mindestens so groß bemessen ist, daß eine maximale mechanische Auslenkung des Spiegels (5) nicht durch den Boden (11) begrenzt wird, wobei das Antriebsmittel (Statorelektroden 15 oder Spule 24) eine Kraft nur unmittelbar auf die Antriebsplatte (4) ausübt und diese Kraft einer periodischen Funktion folgt, deren Periode auf die Eigenfrequenz des Spiegels (5) abgestimmt ist, die sich von der ...



DE 101 19 073 A 1

DE 101 19 073 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft einen Resonanzscanner, bei dem ein Spiegel durch Torsionsfedern an einem Rahmen gelagert ist, wobei der Spiegel durch ein Antriebsmittel so in eine mechanische Bewegung versetzt wird, daß dieser eine periodische Schwingung um eine Torsionsachse ausführt.

[0002] Die Grundprinzipien elektromechanischer Strahl-
ablenksysteme sind in Stan Reich: "The use of electro-mechanical mirror scanning devices" SPIE Vol. 84 Laser Scanning Components & Techniques (1976); Fig. 1 dargestellt. Im rechten Bildteil ist auch die Gruppe von Scannern dargestellt, auf die sich die Erfindung bezieht, die Resonanzscanner. Der Antrieb der Spiegelfläche erfolgt je nach Spiegelgröße und erforderlicher Dynamik durch elektromagnetische, elektrostatische oder piezoelektrische Antriebe.

[0003] Resonanzscanner werden häufig elektrostatisch angetrieben. Die Vorteile dieses Prinzips bestehen darin, daß keine zusätzlichen Materialien, wie beispielsweise metallische Leitbahnen bzw. Magnete (bei elektrodynamischem Antrieb) oder piezoelektrische Materialien (bei piezoelektrischem Antrieb) auf dem Spiegel verwendet werden müssen, die sich negativ auf die Höhe der zu erreichenden Resonanzfrequenz, auf die Scangeschwindigkeit und gegebenenfalls auf die Ebenheit der lichtreflektierenden Fläche auswirken.

[0004] Ein elektrostatischer Antrieb erfordert jedoch einen elektrischen Feldraum, der zur Erzielung hoher Feldstärken zwischen dem Spiegel und in geringem Abstand angebrachten Elektroden gebildet wird. Üblicherweise sind die feststehenden Elektroden großflächig und parallel zum Spiegel in Ruhestellung konstruiert. Der Vorteil dieser Anordnung besteht darin, daß sich das Antriebsmoment auch bei ausgelenktem Spiegel nicht vermindert und der Scanner besonders effektiv bis zur Maximalauslenkung angetrieben werden kann. Wegen des erforderlichen kleinen Abstandes im Bereich bis ca. 500 µm wird der Auslenkwinkel solcher Scanner wesentlich durch den sich hierbei bildenden mechanischen Anschlag und durch Instabilitäten des elektrostatischen Antriebs (pull-in Effekt) begrenzt.

[0005] In der Literatur werden Lösungen beschrieben, die dieses Problem teilweise beheben. In K. Reimer, H. J. Quenzer, M. Jürss, B. Wagner, "Micro-optic fabrication using one-level gray-tone lithography", Miniaturized Systems with Micro-Optics and Micromechanics II, Proc. SPIE 3008, pp. 279-288, 1997 werden mit zum Spiegel geeignete Elektroden eingesetzt, die am Spiegelrand einen größeren Abstand besitzen und dadurch eine größere Auslenkung ermöglichen. Wegen der geringeren Feldstärke im Randbereich ist jedoch eine größere Ansteuerspannung erforderlich. Weitere Konstruktionen sind in H. Schenk, P. Dürr, H. Kück, A novel electrostatically driven torsional actuator, Proc. of MOEMS '99 Conference, Mainz, Germany und in R. A. Conant, J. T. Nee, K. Y. Lau, R. S. Muller, A flat high-frequency scanning micromirror, IEEE Solid State Sensor and Actuator Workshop, Hilton Head, June 2000, pp. 6-9 beschrieben, wobei anstelle einer großflächigen Elektrode speziell ausgebildete Kammelektroden am Rand des Spiegels bzw. an zusätzlich angebrachten Antriebsstegen ein elektrostatisches Streufeld nutzen, um den Spiegel zur Schwingung anzuregen.

[0006] Bei diesen Lösungen begrenzen die oben genannten Effekte den maximal möglichen Auslenkwinkel nicht. Wegen der Nutzung des Streufeldes wirkt das elektrostatisch erzeugte Drehmoment jedoch nur in einem Bruchteil der Schwingbewegung besonders stark, wobei während des restlichen Bewegungszyklus der Antrieb weniger effektiv arbeitet.

[0007] In Buser Rudolf, A.: "Theoretical and Experimen-

tal Investigations on Silicon Single Crystal Resonant Structures" Dissertation University of Neuchatel, Switzerland, 1989 Seiten 165-179 sind verschiedene Strukturen beschrieben, die als Torsionsschwinger ausgebildet sind. Dort werden physikalische Untersuchungen an einem gekoppelten schwingungsfähigen System vorgestellt, bei dem ein innerer Schwinger mit Hilfe von Torsionsfedern an einem Rahmen gelagert ist und bei dem der Rahmen wiederum mit Hilfe von Torsionsfedern an einer den Rahmen umgebenden Einspannvorrichtung gelagert ist. Ziel dieser Anordnung ist, daß der resonant schwingende innere Schwinger über den ebenfalls schwingungsfähigen Rahmen von der Einspannvorrichtung besser entkoppelt wird, um eine hohe Resonanzfrequenz des inneren Schwingers zu erreichen. Der innere Schwinger und der Rahmen sind dicht über einer Glasplatte angeordnet. Somit ist nur eine relativ kleine Amplitude der Schwingung des inneren Schwingers realisierbar. Die auf der Glasplatte aufgebrauchten Statorelektroden überdecken auch den Flächenbereich des inneren Schwingers weitreichend. Nur der Bereich neben den Torsionsfedern enthält keine Elektrodenbeschichtung.

[0008] Es wird angegeben, daß der durch den Rahmen von der Einspannvorrichtung entkoppelte resonante Schwinger als Sensor (z. B. Drucksensor) verwendbar ist. Somit ist nur eine vergleichsweise sehr kleine Amplitude des resonanten Schwingers erforderlich, deren Änderung ausgewertet wird.

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, einen neuartigen Resonanzscanner zu schaffen, der vergleichsweise einfach aufgebaut und mit vergleichsweise wenig Aufwand ansteuerbar ist. Dabei soll die schwingende Spiegelfläche eine vergleichsweise große reflektierende Fläche aufweisen und einen vergleichsweise großen Ablenkwinkel bei einer im Vergleich hohen Ablenkfrequenz erzeugen.

[0010] Die Lösung der Aufgabe gelingt erfindungsgemäß durch einen Resonanzscanner, bei dem ein Rahmen, eine Antriebsplatte, ein Spiegel und Torsionsfedern ein Aktorteil bilden, wobei die Antriebsplatte innerhalb des Rahmens durch zwei erste Torsionsfedern so befestigt ist, daß die Antriebsplatte um eine gemeinsame erste Torsionsachse beider Torsionsfedern schwingungsfähig ist, der Spiegel innerhalb der Antriebsplatte durch zwei zweite Torsionsfedern so befestigt ist, daß der Spiegel um eine gemeinsame zweite Torsionsachse beider Torsionsfedern schwingungsfähig ist und die erste Torsionsachse und die zweite Torsionsachse parallel zueinander verlaufen, weiterhin nur der Rahmen des Aktorteils auf Seitenwänden eines kastenförmigen Statorteils befestigt ist, auf einem Boden des Statorteils ein Antriebsmittel nur im Bereich der geometrisch flächenhaften Ausdehnung der Antriebsplatte angeordnet ist und der Boden im Bereich der geometrisch flächenhaften Ausdehnung des Spiegels eine Ausnehmung hat, die mindestens so groß bemessen ist, daß eine maximale mechanische Auslenkung des Spiegels nicht durch den Boden begrenzt wird, wobei das Antriebsmittel eine Kraft nur unmittelbar auf die Antriebsplatte ausübt und die Kraft einer periodischen Funktion folgt, deren Periode auf die Eigenfrequenz des Spiegels abgestimmt ist, die sich von der Eigenfrequenz der Antriebsplatte unterscheidet.

[0011] Das schwingungsfähige System aus Spiegel und Antriebsplatte ist derart dimensioniert, daß es bei einer periodischen Funktion der Kraftwirkung mit einer Arbeitsfrequenz eine wesentliche und nutzbare Verstärkung einer Amplitude des Spiegels in bezug auf eine Amplitude der Antriebsplatte aufweist.

[0012] Die Arbeitsfrequenz f_A ist bei einer Amplitudenmodulation der Kraftwirkung konstant und liegt nahe der Resonanzfrequenz f_R des schwingungsfähigen mechanischen Systems des Spiegels. Für das Regelverhalten des

Spiegels ist es günstig, wenn die Arbeitsfrequenz f_A nicht genau mit der Resonanzfrequenz f_R des mechanischen schwingungsfähigen Systems übereinstimmt. Bei einer hohen Dämpfung des mechanischen Schwingenspiegels liegt die Arbeitsfrequenz f_A näher an der Resonanzfrequenz f_R , bei einer geringen Dämpfung weiter weg von dieser. Bei einer Frequenzmodulation der Kraftwirkung innerhalb eines Bereiches Δf_A wird die Amplitude der Kraftwirkung konstant gehalten. Entspricht die Arbeitsfrequenz genau der Resonanzfrequenz des Spiegels wird die größte Schwingamplitude des Spiegels erreicht. Liegt die Arbeitsfrequenz neben der Resonanzfrequenz, wird die Amplitude entsprechend kleiner. Das Modulationsverfahren und eine entsprechende Wahl der Arbeitsfrequenz erzeugen in Abhängigkeit von der vorliegenden konstruktiven Dimensionierung einen gewünschten Phasenwinkel der Scannbewegung und ihre gewünschte Amplitude.

[0013] Der erfindungsgemäße Resonanzscanner besteht somit aus zwei gekoppelten Torsionsschwingern, wobei die Antriebsplatte und ihre unmittelbar angreifenden ersten Torsionsfedern einen äußeren Resonator bilden und der Spiegel und seine unmittelbar angreifenden zweiten Torsionsfedern einen inneren Resonator bilden.

[0014] Dieses gekoppelte Schwingersystem weist zwei gleiche für die Funktion wichtige Rotationsfreiheitsgrade auf. Gleichzeitig existieren zwei Eigenfrequenzen und die dazugehörigen Eigenschwingformen. Für eine angestrebte große Auslenkung des Scanners wird diejenige Schwingform auf ihrer Resonanzfrequenz angeregt, deren Eigenvektoren ein hohes Amplitudenverhältnis des inneren Schwingers, des Spiegels, in bezug auf den äußeren Schwinger, der Antriebsplatte, aufweist. Die Erregung erfolgt nur am äußeren Schwinger, der Antriebsplatte. Die Antriebsplatte hat eine vergleichsweise große flächenhafte Ausdehnung. Somit werden einerseits größere Kraftwirkungen erzielt, andererseits ist deren Dämpfung größer. Mit der Trennung des schwingungsfähigen Systems in die Antriebsplatte und den Spiegel kann eine Optimierung der Anordnung jedes dieser Bauteile innerhalb seiner Umgebung durchgeführt werden. Die Ausnahme im Statorteil im Bereich des Spiegels ermöglicht seine große Schwingamplitude und reduziert seine Dämpfung.

[0015] Der mögliche geringe Abstand der Antriebsplatte von dem Statorteil ermöglicht eine Optimierung des Antriebs mit dem Ziel, große Kräfte zu überlagern und kleine Winkelbewegungen zu erzeugen, die durch die mechanische Kopplung in eine große Auslenkung des Spiegels, bis in die Größenordnung $\pm 10^\circ$, übersetzt werden.

[0016] Zur Erzeugung der Antriebskräfte steht ein Antriebsmittel mit der Antriebsplatte in Wechselwirkung, oder die Antriebsplatte enthält selbst Teile des Antriebsmittels. Vorzugsweise wird die Antriebsplatte durch elektrostatische und/oder elektromagnetische Kräfte zur Bewegung angeregt. Die Erfindung ist jedoch nicht auf diese Antriebskonzepte begrenzt, vielmehr sind diese Antriebskonzepte und Alternativen aus der Literatur hinreichend bekannt.

[0017] Die auf die Antriebsplatte einwirkenden Kräfte werden zum Beispiel elektrostatisch, elektromagnetisch, pneumatisch oder piezoelektrisch erzeugt. Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Resonanzscanners besteht darin, daß die Antriebsplatte beidseitig Flächen hat, an denen Antriebskräfte angreifen oder an der Antriebskräfte erzeugt werden können. Somit können ein Antriebssystem oder gleichzeitig zwei Antriebssysteme auf die Antriebsplatte einwirken. Dazu ist gemäß der Erfindung am Rahmen des Aktorteils beidseitig, gegenüberliegend jeweils ein Statorteil befestigt.

[0018] Besondere Vorteile liefert ein elektrostatischer An-

trieb, da dieser mit einem vergleichsweise geringen Aufwand realisierbar und preiswert ansteuerbar ist. Bei einem elektrostatischen Antrieb werden durch die erfindungsgemäßen Merkmale des Resonanzscanners ohne Probleme vergleichsweise großflächige gegenüberstehende Elektroden realisierbar. Eine schwingende Fläche der Antriebsplatte übernimmt die Funktion einer Elektrode und dieser Fläche stehen weitere Elektroden gegenüber, die mit dem Statorteil verbunden sind.

[0019] Bei einer zweifachen Auslegung des Antriebssystems ist somit ein Elektrodensystem unterhalb der Antriebsplatte und ein Elektrodensystem oberhalb der Antriebsplatte angeordnet. Durch eine gegenphasige Ansteuerung wird entweder die Höhe der Ansteuerspannung weiter reduziert oder die Antriebskraft entsprechend erhöht.

[0020] Eine bewegliche Elektrode stellt die Antriebsplatte dar, eine gegenüberliegende Elektrode ist im Boden des Statorteils fest angeordnet. Der Spiegel wird durch die Antriebsplatte über die zweiten Torsionsfedern indirekt zur Schwingung in seiner oder nahe seiner Eigenfrequenz gebracht.

[0021] Am Spiegel selbst ist keine elektrostatische Feldwirkung erforderlich. Diese ist sogar völlig unerwünscht, so daß es zweckmäßig ist, daß nur auf der Antriebsplatte eine Gegenelektrode aufgebracht ist oder nur diese als solche wirkt. Dieses ermöglicht den großen Vorteil, daß der Abstand zwischen Spiegel und dem umgebenden Statorteil als Gehäuse, so groß gewählt werden, das eine vergleichsweise große Winkelauslenkung des Spiegels realisierbar ist, deren Größe nicht durch einen mechanischen Anschlag begrenzt wird.

[0022] Zusätzlich führen die möglichen größeren Freiräume zwischen den Gehäuseteilen und dem Spiegel zu einer erheblich geringeren Dämpfung des Spiegels durch die umgebende Luft, welches unmittelbar Auswirkungen zur Größe der erzielbaren Resonanzüberhöhung hat. Mit der Verminderung der Luftdämpfung wird gleichzeitig ein größerer mechanischer Gütefaktor und dadurch eine vergrößerte Auslenkung erzielt.

[0023] Im Bereich der Antriebsplatte sind die zwei vergleichsweise großflächig gestalteten, parallel zueinander stehenden Elektroden in nunmehr besonders geringem Abstand zueinander (z. B. $30\ \mu\text{m}$) angeordnet. Auf der Resonanzfrequenz des Spiegel/Feder-Systems wird die Antriebsplatte relativ zum Spiegel eine wesentlich kleinere Auslenkung erfahren, was die Minimierung des Elektrodenabstandes und infolgedessen einen proportional verminderten Ansteuerspannungsbedarf ermöglicht.

[0024] Der Aufbau des Resonanzscanners erfolgt besonders einfach, wenn das Aktorteil, bestehend aus dem Rahmen, der Antriebsplatte, dem Spiegel und den Torsionsfedern, in einem Stück aus einem torsionsbeständigen Federmaterial hergestellt wird. Bei einem Stahlwerkstoff wird das Aktorteil zweckmäßig durch Laser-Schneiden hergestellt. Besonders geeignet ist einkristallines Silizium, bei dem vorzugsweise lithographische Verfahren zur Strukturierung eingesetzt werden.

[0025] Einkristallines Silizium zeichnet sich dadurch aus, daß es bei Torsionsbeanspruchung keinerlei Ermüdungserscheinungen zeigt, und daß hochentwickelte technologische Verfahren zu einer Massenproduktion zur Verfügung stehen. Die Erfindung ist jedoch nicht auf die Anwendung eines Materials begrenzt. Vielmehr eignen sich zum Beispiel auch spezielle Stahlblechsorten, Spezialgläser oder Keramiken.

[0026] Der Spiegel besteht entweder aus einem Material, das für die Wellenlänge, die reflektiert werden soll, ein gewünschtes hohes Reflexionsvermögen besitzt, oder der Spiegel besteht aus dem Federmaterial, dessen optische

Wirkfläche mit einer reflektierenden Schicht oder einer reflektierenden Schichtfolge beschichtet ist.

[0027] Eine vorteilhafte Ausgestaltung des Resonanzscanners besteht darin, daß einer ersten reflektierenden Fläche des Spiegels eine zweite reflektierende Fläche parallel gegenüberliegt und jede der Flächen zumindest eine Wellenlänge des elektromagnetischen Spektrums reflektiert.

[0028] Die räumliche Trennung von Spiegel und Antrieb hat auch den Vorteil, daß ein beidseitiger optischer Zugang zu den gegenüberliegenden Spiegelflächen geschaffen ist. Die Antriebsmittel sind so weit außerhalb des Spiegels angeordnet, daß dadurch für den optischen Strahlenverlauf praktisch keinerlei Einschränkungen entstehen.

[0029] Eine weitere Ausgestaltung des Spiegels besteht darin, daß die erste Fläche zur Reflexion eines Nutzstrahles und die zweite Fläche zur Reflexion eines Meßstrahles ausgelegt ist.

[0030] Aus applikativer Sicht ermöglicht das die Ablenkung eines Nutzstrahles auf einer der Spiegelflächen und eine optische Detektion der Spiegelposition unter Nutzung der Reflexion an der gegenüberliegenden, rückseitigen Spiegelfläche. Eine Messung der Spiegelstellung kann auch durch eine Kapazitätsmessung an der Antriebsplatte erfolgen, da eine Rückwirkung des schwingenden Spiegels auf die Antriebsplatte auswertbar ist.

[0031] Die Erfindung ist auch für die Fälle anwendbar, daß das als Spiegel bezeichnete Bauteil für Wellenlängen des elektromagnetischen Spektrums durchlässig ist. Somit hat der Spiegel die Wirkung einer schwingenden Planparallelplatte oder einer schwingenden Linse, die zum Beispiel ebenfalls eine Strahlablenkung liefern.

[0032] Eine weitere Ausgestaltung des als Spiegels bezeichneten Bauteiles besteht darin, daß die erste Fläche und/oder die zweite Fläche des Spiegels eine Krümmung aufweist und diese somit eine strahlformende Wirkung haben.

[0033] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung besteht darin, daß die Ausnehmung des Statorteils im Bereich des Spiegels so ausgebildet ist, daß das Statorteil in diesem Bereich eine durchgehende Öffnung hat. Mit dieser Maßnahme ist die rückseitige Spiegelfläche nahezu ohne Einschränkungen für eine Strahlablenkung zugänglich. Strahlt auf den Spiegel Licht mit einer Wellenlänge ein, für die dieser durchlässig ist, wird die optische Apertur nicht durch das Statorteil begrenzt. Die mechanische Dämpfung des schwingenden Spiegels wird durch die freie Öffnung noch deutlicher reduziert. Wird das Aktorteil beidseitig von einem Statorteil umgeben, ist es zweckmäßig, daß beide Statorteile mit einer Öffnung versehen sind.

[0034] Der Resonatorscanner ist weiterhin durch ein Verfahren zu seiner Herstellung gekennzeichnet, bei dem mehrere Aktorteile auf einem Aktorwafer aus einkristallinem Silizium und mehrere Statorteile auf einem Statorwafer aus einkristallinem Silizium strukturiert und konfektioniert werden.

[0035] Weiterhin wird ein strukturierter Aktorwafer mit einem strukturierten Statorwafer durch ein mikromechanisches Fügeverfahren verbunden. Derartige Verfahren sind zum Beispiel Kleben, Löten, Anglasen oder niedertemperatur-Silizium-Direktbonden. Der Verbund wird durch Trennschnitte in Resonatorscanner vereinzelt.

[0036] Werden an einem Aktorteil zwei Statorteile angeordnet, so wird ein strukturierter Aktorwafer auf jeder seiner zwei strukturierten Flächen mit jeweils einem Statorwafer verbunden.

[0037] Der Aktorwafer und der Statorwafer werden durch eine Kombination von Naß- und Trockenätzschritten aus dem Wafermaterial herausgebildet.

[0038] Die Strukturierung des Wafermaterials, die Kon-

fektionierung mit Elektroden, elektrischen Leitern, Sensoren sowie Steuer- und Meßelektronik erfolgt mit den aus der Elektronik-Technologie bekannten Verfahren. Mit den damit zur Verfügung stehenden Technologien ist eine kostengünstige Massenfertigung realisierbar.

[0039] Die Resonanzscanner sind typisch mit einer Resonanzfrequenz oberhalb 20 kHz mit einem Spiegeldurchmesser im Bereich von 0,5 bis 5 mm für mechanische Ablenkwinkel im Bereich zwischen $\pm 1^\circ$ und $\pm 10^\circ$ herstellbar. Bei einer Arbeitsfrequenz von 24 kHz wird beispielhaft bei einem Spiegeldurchmesser von 2 mm ein mechanischer Ablenkwinkel von $\pm 6^\circ$ erzeugt.

[0040] Die Erfindung soll an Hand mehrerer Beispiele für einen Resonanzscanner beschrieben werden, der mit Hilfe von Verfahren der Halbleitertechnologie hergestellt wird. Die nachfolgend beschriebenen Figuren sind nicht maßstabsgerecht gezeichnet. Die geometrischen Abmessungen liegen in der Querschnittsdimension im Mikrometerbereich. Die Größe des Resonanzscanners liegt im Zentimeterbereich, die Größe des Spiegels selbst liegt typisch im Millimeterbereich.

[0041] Es zeigen:

[0042] Fig. 1 Querschnitt eines Resonanzscanners mit kaskadiertem elektrostatischen Antrieb mit einer Aussparung im Bereich des Spiegels

[0043] Fig. 2 Draufsicht des Resonanzscanners gemäß Fig. 1

[0044] Fig. 3 Querschnitt des Resonanzscanners mit beidseitigem elektrostatischen Antrieb

[0045] Fig. 4 Querschnitt eines Aktorteils für einen Resonanzscanner gemäß Fig. 3

[0046] Fig. 5 Draufsicht auf das Aktorteil gemäß Fig. 4

[0047] Fig. 6 Querschnitt eines der Statorteile für einen Resonanzscanner gemäß Fig. 3

[0048] Fig. 7 Draufsicht auf das Statorteil gemäß Fig. 6

[0049] Fig. 8 Querschnitt eines Resonanzscanners mit kaskadiertem elektromagnetischen Antrieb und mit einer Öffnung im Bereich einer schwingenden Planparallelplatte.

[0050] Der Resonanzscanner mit kaskadiertem Antrieb entsprechend den Darstellungen in den Fig. 1 und Fig. 2 besteht aus zwei mit Schichten versehenen Teilen, einem Aktorteil 1 und einem Statorteil 2, die jeweils aus einkristallinem Silizium bestehen. Aktorteil 1 und Statorteil 2 enthalten alle Elemente eines mikromechanischen Resonanzscanners mit kaskadiertem Antrieb einerseits in Form der mechanischen Bestandteile Antriebsplatte 4, Spiegel 5 mit ersten und zweiten Torsionsfedern 6, 7, und andererseits in Form eines Antriebsmittels, im Beispiel bestehend aus Statorelektroden 15, Zuleitungen 16 und Bondinseln 17. Der hier beispielhaft beschriebene elektrostatisch angetriebene Resonanzscanner hat den Vorteil großflächiger paralleler Statorelektroden 15, bei gleichzeitig fehlendem mechanischen Anschlag des Spiegels 5.

[0051] Das Aktorteil 1 ist Teil einer strukturierten 300 im dicken Siliziumscheibe. Das Aktorteil 1 hat zweckmäßigerweise eine rechteckige Grundfläche, wie diese in der Draufsicht der Fig. 2 gezeigt ist. Diese Grundfläche ist so strukturiert, daß ein innerer Rahmen 3 eine Durchführung 18 umgrenzt sowie als Halterung für das schwingungsfähige System, bestehend aus den ersten Torsionsfedern 6, der Antriebsplatte 4, den zweiten Torsionsfedern 7 und dem Spiegel 5, dient. Die ersten Torsionsbänder 6 verbinden die Antriebsplatte 4 mit dem Rahmen 3 des Aktorteils 1.

[0052] Die Torsionsbänder 7 verbinden den Spiegel 5 mit der Antriebsplatte 4. Die ersten Torsionsbänder 6 legen eine erste Torsionsachse 8 und die zweiten Torsionsbänder 7 legen eine zweite Torsionsachse 9 fest. Es entstehen somit zwei an sich unabhängig voneinander schwingungsfähige

Teile: die Antriebsplatte 4 und der Spiegel 5.

[0053] Wesentlich ist, daß die erste Torsionsachse 8 und die zweite Torsionsachse 9 parallel zueinander ausgerichtet sind. Durch diese Maßnahme entsteht ein stark gekoppeltes schwingungsfähiges System, mit den schwingenden Teilen Antriebsplatte 4 und Spiegel 5. Je besser die beiden Torsionsachsen 8, 9 übereinstimmen, je größer ist der Grad der Kopplung.

[0054] Im Beispiel der Fig. 1 ist der Querschnitt des Resonanzscanners nach Fig. 2 dargestellt. Das Aktorteil 1 ist in diesem Beispiel so strukturiert, daß die Antriebsplatte 4, die ersten Torsionsfedern 6, die zweiten Torsionsfedern 7 und den Spiegel 5 jeweils eine unterschiedliche Dicke haben. In Folge dessen sind die erste Torsionsachse 8 und die zweite Torsionsachse 9 parallel zueinander versetzt. Die gewünschten bewegungsdynamischen Eigenschaften der schwingenden Teile des Aktorteils 1 werden im Beispiel mit einer Dimensionierung der Dicke jedes der Teile erreicht. Der Spiegel 5 ist 100 µm dick, die Antriebsplatte 4 ist 250 µm dick. In diesem Beispiel haben die zweiten Torsionsfedern 7 eine Dicke von 50 µm und die ersten Torsionsfedern 6 sind 70 µm dick.

[0055] Das Statorteil 2 ist Teil einer strukturierten 525 µm dicken Siliziumscheibe mit einem nicht strukturierten Boden 11. In seinen Außenabmessungen ist das Statorteil 2 identisch mit den äußeren Maßen des Aktorteils 1. Seine inneren Abmessungen entsprechen denen des inneren Rahmens 3 des Aktorteils 1. Das Statorteil 2 hat eine Grube 19, deren Lage und Abmessung mit der Durchführung 18 des Aktorteils 1 übereinstimmen. Die Grube 19 dient zur Aufnahme von Bondinseln 17 für die Stromzuführungen des Antriebsmittels und für Anschlüsse an Meß- und Steuerungsmittel, die nicht dargestellt sind.

[0056] Die Durchführung 18 im Aktorteil 1 gewährleistet den Zugang für ein Bondwerkzeug zur Herstellung der elektrischen Verbindungen. Weiterhin ist in das Statorteil 2 ein Freiraum 12 für den Platzbedarf des Antriebsmittels vorgesehen. Der Freiraum 12 ist so groß bemessen, daß dieser mit der inneren Begrenzung des Rahmens 3 des Aktorteils 1 übereinstimmt. Die durch den Freiraum 12 und die Grube 19 gebildeten Seitenwände 10 des Statorteils 2 dienen der Befestigung des Aktorteils 1 mit Hilfe einer Bondschicht 26.

[0057] Das Antriebsmittel ist im Beispiel ein elektrostatischer Antrieb, bestehend aus den zwei gegenphasig angesteuerten Statorelektroden 15 und einer Gegenelektrode, die im Beispiel durch das leitfähige Material der Antriebsplatte 4 selbst gebildet wird. Ein Polanschluß 21 stellt den elektrischen Kontakt her. In dem Freiraum 12 sind bodenseitig die zwei Statorelektroden 15 auf einer Isolatorschicht 27 isoliert zueinander parallel liegend, nebeneinander angeordnet und über die Zuleitungen 16 mit der jeweils einer Bondinsel 17 verbunden. Die beiden Statorelektroden 15 sind flächenmäßig so weit ausgedehnt, wie von der Antriebsplatte 4 überdeckt wird. Insbesondere ist der Bereich unterhalb des Spiegels 5 nicht mit den Statorelektroden 15 versehen. Dieser Bereich umfaßt auch einen diesen umgebenden Rand sowie ein Gebiet unterhalb der Torsionsachsen 8, 9.

[0058] Weiterhin weist der Freiraum im Bereich der flächenhaften Ausdehnung des Spiegels 5, dort wo keine Statorelektroden 15 aufgebracht sind, eine Ausnehmung 13 auf, die den Freiraum 12 in diesem Bereich wesentlich vergrößert.

[0059] Die Ausnehmung 13 ist ein wesentliches Merkmal der Erfindung. Allein dadurch wird die gewünschte vergleichsweise große Schwingungsamplitude des Spiegels 5 ermöglicht. Der Luftwiderstand kann, durch die Möglichkeit größere Körperabstände zu realisieren, wesentlich verringert werden, was die dynamischen Eigenschaften des

schwingenden Spiegels 5 wesentlich verbessert. Auf dem Spiegel 5 ist auf der dem Boden 11 gegenüberliegenden Fläche eine Spiegelschicht 20 aufgebracht.

[0060] Fig. 3 zeigt einen Querschnitt des Resonanzscanners mit beidseitigem Antrieb. Ein Aktorteil 1 ist hier mit zwei Statorteilen, einem unteren Statorteil 2' und einem oberen Statorteil 2'' verbunden. Auf die beiden Flächen der Antriebsplatte 4 greifen elektrische Antriebskräfte an.

[0061] Das hier verwendete Aktorteil 1 in der Fig. 4 im Querschnitt und in der Fig. 5 in der Draufsicht gezeigt. Es entspricht im Prinzip dem Aktorteil 1 mit Durchführung 18', wie es in der Draufsicht der Fig. 2 gezeigt ist, mit dem Unterschied, daß in Fig. 3 eine weitere Durchführung 18'' vorgesehen ist, die am rechten Bildrand gezeigt ist. Ein weiterer Unterschied besteht darin, daß das Aktorteil 1 im Beispiel der Fig. 3 und der Fig. 4 eine gleichmäßige Dicke von 200 µm aufweist. Die erste Torsionsachse 8 ist mit der zweiten Torsionsachse 9 identisch. Diese Maßnahme verbessert die Stabilität des gekoppelten schwingungsfähigen Systems. Durch eine Optimierung der geometrischen Abmessungen des Aktorteils 1 kann auf die Strukturierung des Querschnittes (wie in Fig. 1 gezeigt) verzichtet werden, was den Herstellungsaufwand drastisch reduziert.

[0062] Weiterhin weist der Spiegel 5 in der Fig. 3 und der Fig. 4 beidseitig aufgebraute Spiegelschichten 20' und 20'' auf.

[0063] Fig. 6 zeigt den Querschnitt eines der Statorteile, hier das untere Statorteil 2', für einen Resonanzscanner gemäß Fig. 3. In Fig. 7 ist seine Draufsicht gezeigt. Das untere Statorteil 2' entspricht dem Aufbau, wie dieser zu der Fig. 1 und zu der Fig. 2 beschrieben ist. Der Unterschied besteht darin, daß eine am rechten Bildrand gezeichnete Bondöffnung 30 vorgesehen ist.

[0064] Weiterhin ist im Unterschied zu Fig. 1 die Ausnehmung 13 gemäß dem Beispiel der Fig. 3 in dem unteren Statorteil 2' so ausgebildet, daß eine Öffnung 14' vorliegt. Weiterhin hat das obere Statorteil 2'' eine gleiche Öffnung 14''. Die Öffnungen 14' und 14'' gewährleisten den ungehinderten Zugang optischer Strahlung auf jede der Spiegelschichten 20' und 20''. Jeweils eine der Spiegelflächen 20' und 20'' wird zur Reflexion eines Lichtbündels verwendet, zum Beispiel für einen Nutzlichtbündel und für ein Meßlichtbündel. Weiterhin realisieren diese Öffnungen 14' und 14'' die freie ungehinderte Bewegung des Spiegels 5 sowie die Verminderung der Luftdämpfung.

[0065] Bei einem achsensymmetrischen Aufbau des Resonanzscanners ist das obere Statorteil 2'' genauso aufgebaut wie das untere Statorteil 2'. Diese Maßnahme senkt den Herstellungsaufwand. Das Aktorteil 1 wird zunächst mit dem unteren Statorteil 2' über die Bondschicht 26' verbunden. Dieser Verbund wird mit der dann noch frei liegenden Seite des Aktorteils 1 mit dem oberen Statorteil 2'' über die Bondschicht 26'' verbunden. Oberes Statorteil 2'' und unteres Statorteil 2' sind identisch und werden zueinander seitenverkehrt auf dem Aktorteil 1 montiert. In Fig. 3 ist ersichtlich, daß jeweils zwei Statorelektroden 15' und 15'' jeweils einer Fläche der Antriebsplatte 4 gegenüber stehen.

[0066] Die Durchführung 18' des Aktorteils 1 ist deckungsgleich mit der Bondöffnung 22' des oberen Statorteils 2'' und die Durchführung 18'' des Aktorteils 1 ist deckungsgleich mit der Bondöffnung 22'' des unteren Statorteils 2'. Die Bondöffnung 22' und 22'' in jeweils einem der Statorteile 2' und 2'' sowie die Durchführungen 18' und 18'' in dem Aktorteil 1 gewährleisten den Zugang der Bondwerkzeuge zum Herstellen der elektrischen Verbindungen.

[0067] Fig. 8 zeigt den Querschnitt eines Resonanzscanners, der in Analogie zu den in den Fig. 1 bis 7 beschriebenen aufgebaut sein kann, mit dem Unterschied, daß hier das

Antriebsmittel als ein elektromagnetischer Antrieb realisiert ist. Das Aktorteil **1** trägt auf seiner dem Statorteil **2** zugewandten Seite eine hart-permanentmagnetische Schicht **23**. Im Statorteil **2** sind im Bereich des Freiraums **12** auf der Isolatorschicht **27** zwei elektrische Stromkreise vorgesehen, deren nur schematisch dargestellte Spule **24** eine Flächenspule ist, die wechselnde elektromagnetische Kräfte erzeugt. Die Stromkreise zweier Flächenspulen sind in einem Abstand voneinander symmetrisch beidseitig zu den Torsionsachsen **8, 9**, in Analogie zu den Statorelektroden **15** in Fig. 2 oder Fig. 7, angeordnet. Die Kontaktierung der Spulen **24** erfolgt über die Zuleitungen **16**. Das bisher als Spiegel **5** bezeichnete Element des Aktorteils **1** ist hier als optische Planparallelplatte **25** ausgebildet. Das Statorteil **2** hat hier die Öffnung **14** im Boden **11**, so daß ein freier Strahldurchgang, zum Beispiel bei Silizium im infraroten Spektralbereich, gewährleistet ist. Die optische Planparallelplatte **25** ist hier nur ein weiteres Beispiel für ein strahlbeeinflussendes optisches Element. Weiterhin sind zum Beispiel Linsen, gekrümmte Spiegel, optische Gitter oder Fresnel-Strukturen analog dem schwingenden Spiegel **5** einsetzbar.

[0068] Nachfolgend soll beispielhaft ein Prozeß zur Herstellung des Aktorteils und des Statorteils sowie ihr Zusammenbau zu dem Resonatorspiegel beschrieben werden.

[0069] Ausgangsmaterial für die gleichzeitige Herstellung einer großen Zahl gleicher Aktorteile **1** ist ein doppelseitig polierter Siliziumwafer mit einer Dicke von 200 µm, der nachfolgend als Aktorwafer bezeichnet wird. Der Aktorwafer wird auf der Vorderseite mit einer ersten Aluminiumschicht und auf der Rückseite mit einer zweiten Aluminiumschicht beschichtet. Die Abscheidung erfolgt üblicherweise durch Magnetronspütern. Über eine Lackschicht wird anschließend die Aluminiumschicht auf der Vorderseite des Aktorwafers strukturiert. Die Strukturierung erfolgt vorzugsweise durch Plasmaätzen. Die strukturierte Aluminiumschicht dient bei nun folgenden Trockenätzschritt als Maske. In diesem Schritt werden die Antriebsplatte **4**, mit den ersten Torsionsfedern **6** sowie der Spiegel **5** mit den Torsionsfedern **7** herausgebildet. Danach werden alle Aluminiumschichten durch ein naßchemisches Ätzverfahren entfernt und die Spiegelschicht **20** auf die Vorderseite des Spiegels **5** abgeschieden. Das Material der Spiegelschicht **20** wird entsprechend der zu reflektierenden Wellenlänge gewählt. Üblicherweise ist das Material Aluminium oder ein Sandwich aus Chrom und Gold oder Silber mit entsprechenden Schutzschichten.

[0070] Ausgangsmaterial für die gleichzeitige Herstellung einer großen Zahl gleicher Statorteile **2, 2'** und **2''** ist ein doppelseitig polierter Siliziumwafer mit einer Dicke von 525 µm, der nachfolgend als Statorwafer bezeichnet wird. Der Statorwafer wird thermisch oxidiert und beidseitig mit einer Nitridschicht versehen. Die Oxidschichten und die Nitridschichten des Statorwafers werden mit Hilfe fotolithographischer Prozesse und Plasmaätzschritten strukturiert.

[0071] Dabei werden das Layout der Ausnehmung **13** oder der Öffnung **14**, der Freiraum **12**, weiterhin die Grube **19** und die Bondöffnung **22** definiert hergestellt.

[0072] Nach entfernen aller Maskierungsschichten wird in die Grube **19** und auf die Grundfläche des Freiraumes **12** eine Isolatorschicht **27** aufgebracht. In Folge wird darauf eine Metallisierungsschicht abgeschieden und diese so strukturiert, daß sich die Statorelektroden **15**, Zuleitungen **16**, Bondinseln **17** und der Polanschluß **21** bilden.

[0073] Im Fall des elektromagnetischen Antriebs werden die Spulen **24** mit dem Statorteil **2** innerhalb des Freiraumes **12** fixiert. Die Spule **24** wird zweckmäßigerweise als Flächenspule auf die Grundfläche des Freiraumes **12** aufgebracht, um eine geringe Bauhöhe zu realisieren. Die Spule

24 kann auch eine Spule **24** mit Drahtwindungen sein, die dann zweckmäßigerweise am Statorteil **2** fixiert wird und mit ihrem Polende in den Freiraum **12** hineinragt.

[0074] Der Aktorwafer **1** wird mit dem Statorwafer **2** oder **2'** durch ein Niedertemperatur Bondverfahren verbunden. Der entstandene Verbund wird dann im Fall des beidseitigen Antriebs mit dem weiteren, oberen Statorwafer **2''** durch ein Niedertemperatur Bondverfahren verbunden. Das Vereinzelnen des Verbundes erfolgt durch Trennsägen. Es liegen dann eine Vielzahl einsatzfähiger Resonatorspiegel vor.

Bezugszeichenliste

- 1** Aktorteil
- 2** Statorteil
- 3** Rahmen
- 4** Antriebsplatte
- 5** Spiegel
- 6** erste Torsionsfedern
- 7** zweite Torsionsfedern
- 8** erste Torsionsachse
- 9** zweite Torsionsachse
- 10** Seitenwand
- 11** Boden
- 12** Freiraum
- 13** Ausnehmung
- 14** Öffnung
- 15** Statorelektroden
- 16** Zuleitungen
- 17** Bondinsel
- 18** Durchführung
- 19** Grube
- 20** Spiegelschicht
- 21** Polanschluß
- 22** Bondöffnung
- 23** hart-permanentmagnetische Schicht
- 24** Spule
- 25** optische Planparallelplatte
- 26** Bondschicht
- 27** Isolatorschicht

Patentansprüche

1. Resonanzscanner, bei dem ein Rahmen (**3**), eine Antriebsplatte (**4**), ein Spiegel (**5**) und Torsionsfedern (**6, 7**) ein Aktorteil (**1**) bilden, wobei die Antriebsplatte (**4**) innerhalb des Rahmens (**3**) durch zwei erste Torsionsfedern (**6**) so befestigt ist, daß die Antriebsplatte (**4**) um eine gemeinsame erste Torsionsachse (**8**) beider Torsionsfedern (**6**) schwingungsfähig ist, der Spiegel (**5**) innerhalb der Antriebsplatte (**4**) durch zwei zweite Torsionsfedern (**7**) so befestigt ist, daß der Spiegel (**5**) um eine gemeinsame zweite Torsionsachse (**9**) beider Torsionsfedern (**7**) schwingungsfähig ist und die erste Torsionsachse (**8**) und die zweite Torsionsachse (**9**) parallel zueinander verlaufen, weiterhin nur der Rahmen (**3**) des Aktorteils (**1**) auf Seitenwänden (**10**) eines kastenförmigen Statorteils (**2**) befestigt ist, auf einem Boden (**11**) des Statorteils (**2**) ein Antriebsmittel (Statorelektroden **15** oder Spule **24**) nur im Bereich der geometrisch flächenhaften Ausdehnung der Antriebsplatte (**4**) angeordnet ist und der Boden (**11**) im Bereich der geometrisch flächenhaften Ausdehnung des Spiegels (**5**) eine Ausnehmung (**13**) hat, die mindestens so groß bemessen ist, daß eine

maximale mechanische Auslenkung des Spiegels (5) nicht durch den Boden (11) begrenzt wird, wobei das Antriebsmittel (Statorelektroden 15 oder Spule 24) eine Kraft nur unmittelbar auf die Antriebsplatte (4) ausübt und diese Kraft einer periodischen Funktion 5 folgt, deren Periode auf die Eigenfrequenz des Spiegels (5) abgestimmt ist, die sich von der Eigenfrequenz der Antriebsplatte (4) unterscheidet.

2. Resonanzscanner nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Antriebsmittel elektrostatische 10 (Statorelektroden 15) und/oder elektromagnetische (Spule 24) Kräfte erzeugt, wobei Komponenten des Antriebsmittels auf dem Statorteil (2) fest angeordnet sind und weitere Komponenten des Antriebsmittels auf einer dem Boden (11) zugewandten, schwingende Fläche 15 der Antriebsplatte (4) angeordnet oder durch die Antriebsplatte (4) selbst erzeugt sind.

3. Resonanzscanner nach Anspruch 1 und Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß am Rahmen (3) des Aktorteils (1) beidseitig, gegenüberliegend jeweils ein 20 Statorteil (2) befestigt ist.

4. Resonanzscanner nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Aktorteil (1) in einem Stück aus einem torsionsbeständigen Federmaterial hergestellt 25 ist.

5. Resonanzscanner nach Anspruch 1 oder nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß eine optische Wirkfläche des Spiegels (5) mit einer reflektierenden Schicht oder einer reflektierenden Schichtfolge be- 30 schichtet ist.

6. Resonanzscanner nach Anspruch 1, nach Anspruch 4 oder nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß sich zwei Wirkflächen des Spiegels (5) parallel gegenüberliegen, diese jeweils eine Wellenlänge des elektromagnetischen Spektrums reflektieren, wobei eine 35 Wirkfläche zur Reflexion eines Nutzstrahles und eine weitere Wirkfläche zur Reflexion eines Meßstrahles ausgelegt ist.

7. Resonanzscanner nach Anspruch 1, nach Anspruch 5 oder nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß 40 der Spiegel (5) für eine Wellenlänge des elektromagnetischen Spektrums durchlässig ist.

8. Resonanzscanner nach Anspruch 1 oder nach einem oder mehreren der Ansprüche von 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß eine Wirkfläche des Spiegels (5) 45 eine optisch strahlformende Wirkung hat.

9. Resonanzscanner nach Anspruch 1 oder nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Boden (11) des Statorteils (2) eine den Bereich der stofflichen Aus- 50 dehnung des Spiegels (5) freilegende Öffnung (14) hat.

10. Resonanzscanner nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Aktorteile (1) auf einem Aktorwafer und mehrere Statorteile (2) auf einem Statorwafer aus einkristallinem Silizium strukturiert und konfektioniert werden, 55 ein strukturierter Aktorwafer mit einem strukturierten Statorwafer einseitig oder ein strukturierter Aktorwafer mit zwei Statorwafern beidseitig durch ein mikromechanisches Fügeverfahren verbunden wird und dieser Verbund durch Trennschnitte in mehrere Resonators- 60 canner vereinzelt wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

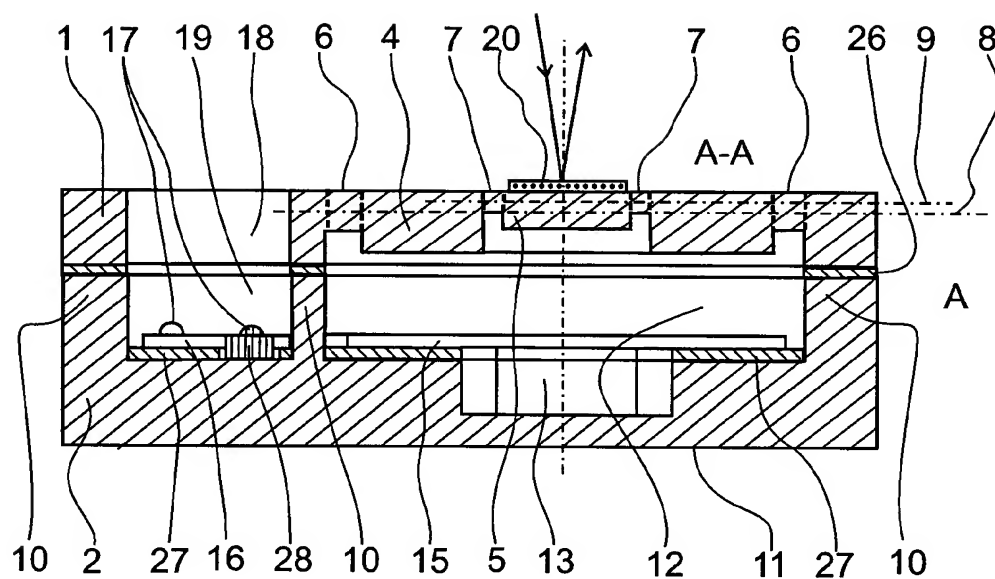


Fig. 1

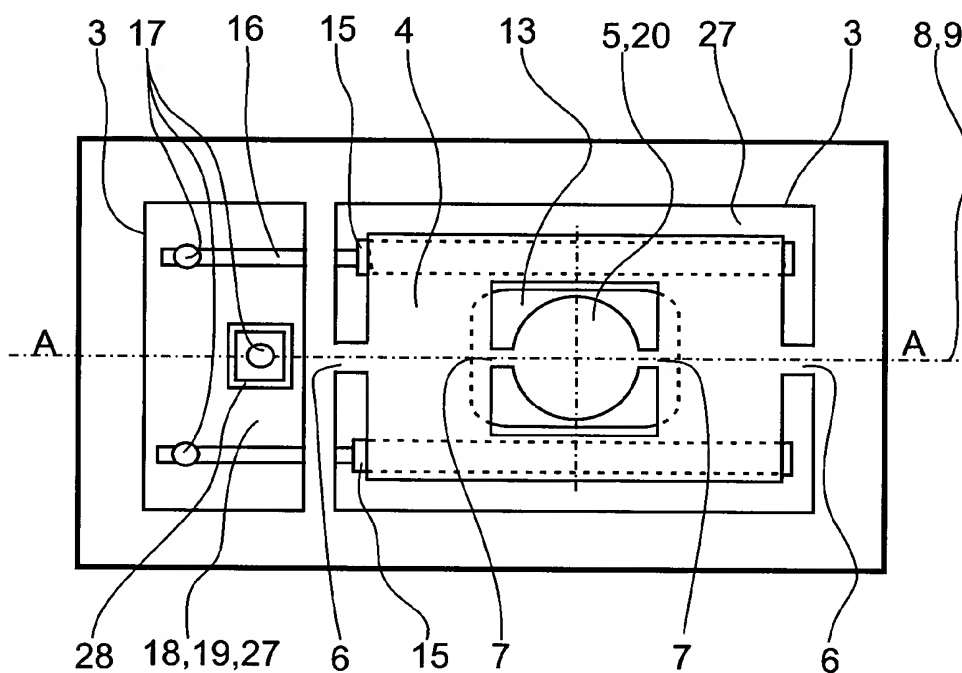


Fig. 2

